云 南 植 物 研 究　1999，21（4）：437～441
Acta Botanica Yunnanica

四种蕨类植物根际土壤中VA菌根真菌孢子种群组成和季相变化*

赵之伟
（云南大学生物学系，云南　昆明　650091）

摘要：对4种移栽到温室中的蕨类植物根际土壤中的VA菌根真菌孢子种群组成和季相变化进行了研究，结果发现，VA菌根真菌孢子的产生具有明显的宿主依赖性和季相变化。在相同气候条件下，不同植物根际土壤中的VA菌根真菌种群组成不同；同种VA菌根真菌在不同宿主植物根际土壤中，孢子的丰富度有很大的差异。本文对影响VA菌根真菌孢子种群组成和季相变化的因素进行了讨论。

关键词：蕨类植物；VA菌根真菌；种群组成；季相变化
中图分类号：Q 949.32　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0253－2700(1999)04－0437－05

Population Composition and Seasonal Variation of VA Mycorrhizal Fungi Spores in the Rhizosphere Soil of Four Pteridophytes

ZHAO Zhi－Wei
(*Department of Biology*, *Yunnan University*, Kunming 650091)

Abstract: The population composition and seasonal variation of VA mycorrhizal fungi spores in the rhizosphere soil of four mycorrhized plants which were transplanted in the greenhouse from the field were studied. It was found that the sporulation of VA mycorrhizal fungi was obviously with host－dependence and seasonal variation. The composition of VA mycorrhizal fungi population differed in the rhizosphere soil of different host plants. The spore abundance of the same species of VA mycorrhizal fungus was significantly different in the rhizosphere soil of different hosts which were grown in the same habitat. The factors that affect spore population composition and seasonal variation of VA mycorrhizal fungi were discussed in this article.

Key words: Pteridophytes; VA mycorrhizal fungi; Population composition; Seasonal variation

VA菌根真菌孢子种群的季相变化，国外已有不少研究，但这些研究工作基本上是针对单个种群进行的（Brent *et al*，1995；Gemma *et al*，1988；Giovannetti，1985；Saif *et al*，1975）。在自然状况下，一种宿主植物根际土壤中通常生活着几种VA菌根真菌（赵之伟等，1997a；1997b；1998；Bever *et al*，1996），对多种群VA菌根真菌在一种宿主植物根际土壤中的季相变化，同种VA菌根真菌在相同气候条件下，不同宿主植物根际土壤中的季

* 基金项目：云南省自然科学基金（97C009M）和云南省中青年学术和技术带头人培养经费资助项目
收稿日期：1998－08－03，1998－08－27接受发表

相变化情况则了解不多。

蕨类植物中的观音座莲科（Angiopteridaceae）植物是一类起源古老、在蕨类植物系统演化中具有重要价值的蕨类植物（塔赫他间著，1963），但是，由于这类植物生长缓慢、分布范围狭窄、数量少、繁殖能力低，加之人为破坏造成生境恶化，各个种的数量正在不断减少，这科植物中的绝大多数种已被列为中国珍稀濒危保护植物（《中国植物红皮书》，第一册，1992）。在这类植物的易地移栽保护中，发现除水份、土壤等条件外，VA菌根也是影响移栽能否成功的一个重要因素。从1993年起，我们对从野外带原土移栽到温室中的4种观音座莲科植物的VA菌根状况、与植物形成VA菌根的真菌类群（赵之伟等，1997b）、根际土壤中的VA菌根真菌种群组成和动态等进行了一系列的研究，本文报道4种观音座莲科植物根际土壤中VA菌根真菌孢子种群组成和季相变化。

1 材料和方法

从1995年3月至1997年9月，每逢单月的10号，定位（对同种同株植物重复采样）采取从野外带原土移栽于温室中栽培了2~10年的云南观音座莲 *Angiopteris yunnanensis* Heiron，河口观音座莲 *Angiopteris hokouensis* Ching，二回原始观音座莲 *Archangiopteris bipinnata* Ching 和亨利原始观音座莲 *Archangiopteris henryi* Gies et Hieron 的根际土，其中，云南观音座莲移栽于地上，其他3种植物移栽于盆中；在温室人工管理条件下，4种蕨类植物的根际无其他植物和杂草生长，植物生长状况良好。取样时，先除去表层土壤，露出植物的肉质根系，然后再采取贴根的土壤约0.5kg于塑料袋内，随即带回实验室中用湿筛法（过150，100，70，40 μm孔径的一组土样筛）筛取孢子，并对各种孢子进行计数统计（程桂荪，1986；An *et al*，1990）。

2 结果

4种蕨类植物的根均深度地受VA菌根真菌感染，并形成典型的VA菌根（赵之伟等，1997b）；从四种植物的根际土壤中分离鉴定出了2属、5种VA菌根真菌（赵之伟等，1997a；1997b；1998），分别是细凹无梗囊霉 *Acaulospora scrobiculata* Trappe，瘤状无梗囊霉 *Acaulospora tuberculata* Janos & Trappe，明球囊霉 *Glomus clarum* Nicol. & Schenck，缩球囊霉 *Glomus constrictum* Trappe 和单孢球囊霉 *Glomus monosporum* Gerd. & Trappe。4种蕨类植物根际土壤中VA菌根真菌孢子组成情况分别是：云南观音座莲为明球囊霉（GCL）和单孢球囊霉（GMN）；河口观音座莲为瘤状无梗囊霉（ATB），明球囊霉（GCL）和缩球囊霉（GCN）；二回原始观音座莲为细凹无梗囊霉（ASC），明球囊霉（GCL）和缩球囊霉（GCN）；亨利原始观音座莲为明球囊霉（GCL）和缩球囊霉（GCN）（表1）。明球囊霉是这四种植物根际土壤中的常见种，4种植物根际土壤中均具有这种真菌的孢子，缩球囊霉存在于除云南观音座莲外的3种植物的根际土壤中，单孢球囊霉、瘤状梗囊霉和细凹无梗霉则只分别存在于一种植物的根际土壤中（表1）。

从孢子种群数量的变化看，云南观音座莲根际土壤中，单孢球囊霉（GMN）的孢子数无明显的季相变化，而明球囊霉（GCL）的孢子仅出现在5~9月；在河口观音座莲的根际土壤中，瘤状无梗囊霉（ATB）和明球囊霉（GCL）孢子的季相变化无规律性，而缩球

囊霉（GCN）的孢子数量则在3～9月间出现递减趋势；在二回原始观音座莲根际土壤中，3种真菌在3～9月间均出现递减趋势；在亨利原始观音座莲的根际土壤中，明球囊霉（GCL）和缩球囊霉（GCN）产孢子的情况明显是相反的。分别将4种植物根际土壤中孢子总数的季相变化绘成柱形图，得到图1。

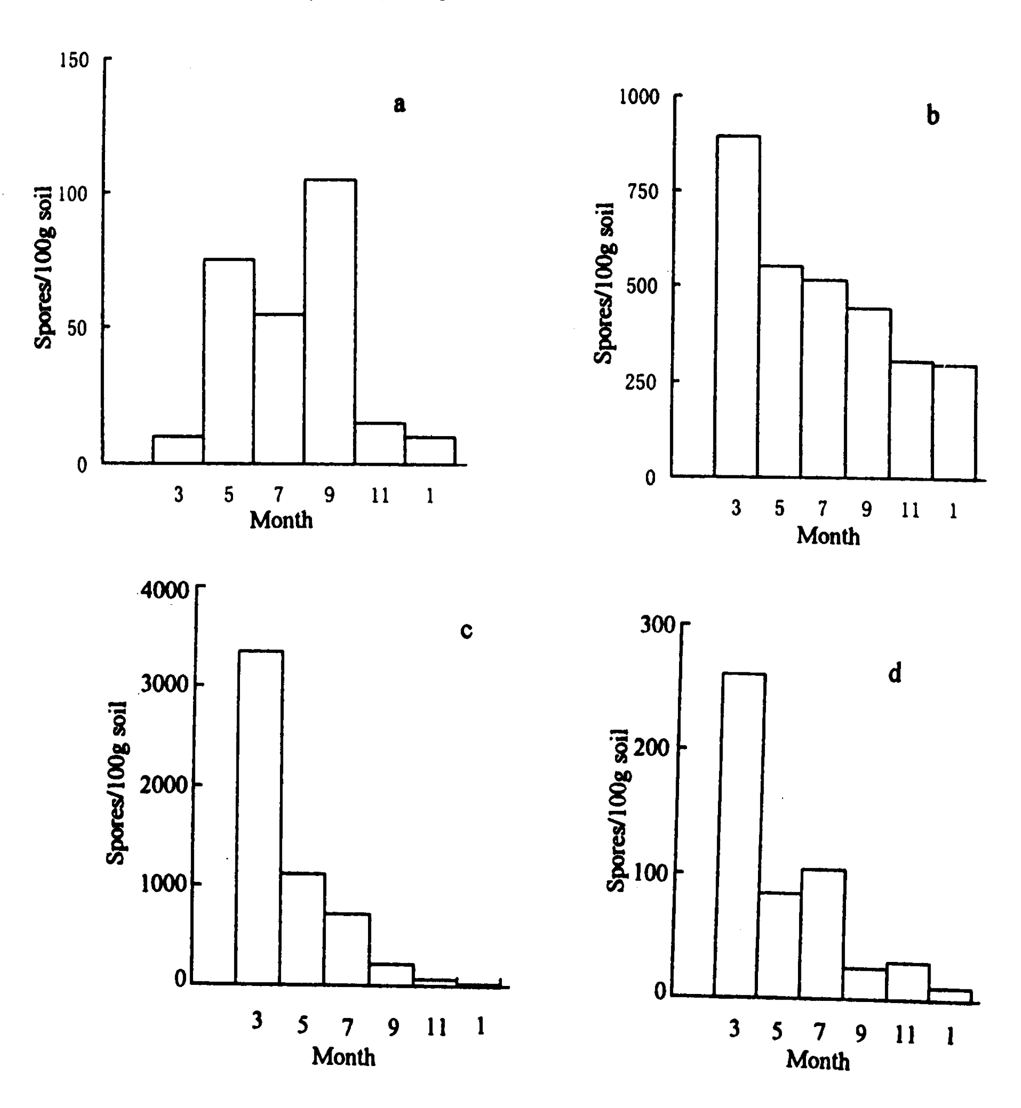


图1　VA菌根真菌孢子种群在4种蕨类植物根际土壤中的季相变化

Fig. 1　Seasonal variation of VA mycorrhizal fungi spore population in the rhizosphere soil of four pteridophytes.

a. 云南观音座莲 *Angiopteris yunnanensis*；b. 河口观音座莲 *Angiopteris hokouensis*

C. 二回原始观音座莲 *Archangiopteris bipinnata*；D. 亨利原始观音座莲 *Archangiopteris henryi*

从图1可以看出，4种植物根际土壤中的VA菌根真菌孢子的丰富度与植物的生长季相变化密切相关，VA菌根真菌孢子的产生基本上集中在植物的生长期（3至9月），而在植物停止生长期（11至1月），VA菌根真菌孢子产生的量很少。在温室相同气候条件下，同种VA菌根真菌孢子产生的数量在不同植物根际土壤中有明显的差别，如明球囊霉在宿

主植物的生长期内，在原始观音座莲的根际土壤中产生的孢子数量明显高于它在其他3种植物根际土壤中产生的孢子数量；而缩球囊霉则在河口原始观音座莲的根际土壤中比在其他3种植物的根际土壤中产生较多的孢子。

表1　4种蕨类植物根际土壤中VA菌根真菌孢子种群的组成和季相变化

Table 1　VA mycorrhizal fungi spore population composition and seasonal variation in the rhizospher soil of four pteridophytes

植　物		真菌	3月	5月	7月	9月	11月	1月	总计
云南观音座莲	GCL	0	65	45	35	0	0	145
Angiopteris yunnanensis Hieron	GMN	10	10	10	70	15	10	125
	Total	10	75	55	105	15	10	270
河口观音座莲	ATB	0	255	0	70	255	165	745
Angiopteris hokouensis Ching	GCL	255	0	195	25	0	0	475
	GCN	640	295	320	345	50	130	1780
	Total	895	550	515	440	305	295	3000
二回原始观音座莲	ASC	1065	290	105	35	65	20	1580
Archangiopteris bipinnata Ching	GCL	1965	730	600	135	0	0	3430
	GCN	315	100	15	50	5	0	485
	Total	3345	1120	720	220	70	20	5495
亨利原始观音座莲	GCL	0	85	105	25	0	0	215
Archangiopteris henryi Gies et Hieron	GCN	260	0	0	0	30	10	300
	Total	260	85	105	25	30	10	515

注：GCL = *Glomus clarum* Nicol. & Schenck（明球囊霉）；GMN = *Glomus monosporum* Gerd. & Trappe（单孢球囊霉）；ATB = *Acaulospora tuberculata* Janos & Trappe（瘤状无梗囊霉）；GCN = *Glomus constrictum* Trappe（缩球囊霉）；ASC = *Acaulospora scrobiculata* Trappe（细凹无梗囊霉）。表中的数字为每100g土壤中的孢子数。

3　讨论

VA菌根是植物与真菌形成的共生体，在共生体中，植物为真菌提供了一个安全的生态位，并为其提供生长繁殖所需的碳水化合物；真菌则帮助植物增强对磷、锌、铜等矿质元素和水分的吸收，并增强植物的抗逆性，竞争能力等。但是，目前看来这种关系不是一种严格的互惠共生（Mutualism），而是带有偏利共生（Commensalism）性质的共生关系(Hayman, 1982)，因为很多VA菌根植物在土壤、水份条件较好的情况下，可以不需要VA菌根营养（即不依靠VA菌根共生关系），而VA菌根真菌却是专性菌根营养的，必须依靠活体宿主植物提供的碳水化合物才能完成其生活史。这种关系决定了VA菌根真菌生长和产孢子对宿主植物的依赖性，在宿主植物的生长季节，植物生命活动旺盛，根部代谢作用活跃，依赖于植物获得碳水化合物的VA菌根真菌也相应容易获得较多的营养物，因而在宿主植物的生长季节产生大量的孢子；而在植物停止生长期间，则与上述情况相反。此外，孢子在土壤中休眠期的长短，也是影响孢子数量季节性变化的一个重要因素(Gemma *et al*，1988)，若孢子具有较长的休眠期，则在宿主植物生长前期产生的孢子可能与生长后期产生的孢子一起在生长后期被湿筛出来计数统计，从而在植物生长后期出现一个孢子数量的峰值，如在本研究中，单孢球囊霉在云南观音座莲根际土壤中的变化，可能就属于这种情况。另外，云南观音座莲因移栽于地上，春季到来时，土壤温度的上升速度不如盆栽中土壤温度上升快，植物的生长相对滞后，因此，从时间上看，其根际土壤中真菌孢子数量的上升变化也较其他3种盆栽植物根际土壤中孢子数的上升晚。

Mosse（1973）认为任何一种VA菌根真菌均可以感染任意一种VA菌根植物形成VA菌根，即VA菌根真菌与宿主植物之间无专一性。从本研究的结果看，虽然同种VA菌根真菌可以无专一性地感染不同宿主植物，如明球囊霉，但是，不同宿主植物根际能容纳VA菌根真菌的种群数以及各种群的数量却是明显不同的，即不同植物根际土壤中VA菌根真菌种群的组成和数量是有区别的；进一步讲，虽然VA菌根真菌对宿主植物不存在专一性，但宿主植物对VA菌根真菌却存在一定的选择。因此，在VA菌根真菌应用于生产实践时，也就需要针对不同的植物，筛选与之匹配的VA菌根真菌。

关于宿主植物如何控制与之共生的VA菌根真菌产孢子的数量，Bever等（1996）提出了一个“正负反馈（positive and negative feedback）”调节的假说，认为若一种特定的宿主植物能促进某种VA菌根真菌的生长（比根际土壤中的其他VA菌根真菌生长快），但这种真菌对这种特定的宿主植物并不是最有效的（不如根际土壤中的其他VA菌根真菌对植物更有利），此时就发生负反馈调节，即植物根际土壤中的优势种群并不是对植物最为有效的种群，这种负反馈调节机制保证了宿主植物根际土壤中VA菌根真菌一定的多样性程度，同时也保证了宿主植物与VA菌根真菌之间多套相互作用的共同存在；正反馈作用则相反，正反馈调节导致建立一种特定宿主与占优势的VA菌根真菌的相互作用，但这仅只是一种假说。目前，对VA菌根真菌与宿主植物之间的营养关系已做了很多研究，但关于宿主如何与真菌识别、建立共生关系，宿主植物又是通过什么机制来控制VA菌根真菌的生长繁殖等方面的研究却很少（Peterson *et al*，1994），因而还不能对宿主植物如何控制与之共生的VA菌根真菌的群种和数量进行合理的解释，今后还需要做深入的研究。除宿主植物对与之共生的VA菌根真菌的生长繁殖起主要调节作用外，VA菌根真菌种群之间的相互作用也是影响一定宿主植物根际土壤中VA菌根真菌种群组成和数量的重要因素，如在本研究中，亨利原始观音座莲根际土壤中的明球囊霉和缩球囊霉，两种真菌孢子产生的情况似乎表现出一定的拮抗关系（Antagonism）（表1）。另外，VA菌根真菌与其他根际微生物的相互作用关系也是在研究VA菌根真菌种群组成和动态时值得研究的问题。

致谢　本研究得到我校生态学和地植物学研究所朱维明教授的鼓励和支持；和兆荣、张光飞先生在土样采集时给予了积极的配合。

参考文献

赵之伟，杜刚，1997a．云南热带蕨类植物根际土壤中的六种VA菌根真菌［J］．菌物系统，**16**（3）：208～211

赵之伟，杜刚，1997b．厚囊蕨类植物VA菌根的初步研究［J］．云南植物研究，**19**（4）：387～390

赵之伟，1998．云南热带、亚热带蕨类植物根际土壤中的VA菌根真菌［J］．云南植物研究，**20**（2）：183～192

塔赫他间著，匡可任等译，1963．高等植物（Ⅰ）［M］．北京：科学出版社，167～176

程桂荪，1986．土壤中VA菌根孢子数检测法［J］．微生物学通报，**13**（4）：169～171

An Z Q, Hendrix J W, Hershman D E *et al*，1990. Evaluation of the “most probable number”（MPN）and wet－sieving methods for determing soil－borne population of endogonaceous mycorrhzal fungi［J］. *Mycologia*，**82**（5）：576～581

Bever J D, Morton J B, Antonovices J *et al*，1996. Host－dependent sporulation and species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in a mown grassland［J］. *J Ecol*，**84**（1）：71～82

（下转448页）